

## СПОСОБ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЦЕМЕНТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Пушкарев Б.А.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,  
295050, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, boris\_pushkarev@mail.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ публикаций, в которых исследованы другие способы снижения расхода цемента для изготовления изгибаемых железобетонных конструкций, в которых применялись пустотообразователи, вкладыши, шлаки, оптимальный подбор размеров и соотношений песка и щебня, тепловая обработка, замена порландцемента шлакощелочным вяжущим, добавлением в бетон золы.

**Предмет исследования.** В статье приведены исследования по снижению расхода цемента при изготовлении железобетонных изгибаемых конструкций без предварительного напряжения на примерах: 1) сборная балка; 2) монолитная плита перекрытия, 3) сборная плита перекрытия с пустотами круглого сечения.

**Материалы и методы.** Обоснованы актуальность, возможность и целесообразность реализации поставленной задачи по снижению расхода цемента при изготовлении изгибаемых железобетонных конструкций. Обращено внимание на то, что бетон в растянутой зоне фактически не влияет на несущую способность изгибаемой конструкции, так как прочность бетона на растяжение очень мала и поэтому в расчётах не учитывается. Также обращено внимание на то, что в настоящее время в растянутой зоне применяется бетон той же прочности, что и в сжатой зоне. В растянутой зоне предлагается применять бетон пониженной прочности, а при конструировании и расчёте элементов изгибаемых конструкций учитывать, что в отдельных элементах бетон меняет несущую способность, а именно: сжатие на растяжение и наоборот, растяжение на сжатие. В таких местах, а это, как правило, опорные участки в неразрезных конструкциях, необходимо устанавливать дополнительную поперечную и продольную арматуру. Приведены примеры расчётов снижения расхода цемента: 1) для сборной балки размером 600×60×20 см, 2) монолитной железобетонной плиты перекрытия толщиной 24 см, 3) сборной балочной плиты перекрытий размерами 630×150×22 см с пустотами круглого сечения диаметром 159 мм.

**Результаты.** Предлагаемый способ позволяет снижать расход цемента на 22% при изготовлении балки, 32% при изготовлении монолитной железобетонной плиты перекрытия и 33% при изготовлении сборной балочной плиты перекрытия размером 630×150×22 см.

**Выводы.** Предлагаемый способ снижения расхода цемента при изготовлении изгибаемых железобетонных конструкций без предварительного напряжения возможен и целесообразен, а также является хорошим дополнением к известным способам снижения расхода цемента, приведённым в разделе «Обзор литературы». Отличие других способов от предложенного состоит в том, что в растянутых и сжатых зонах изгибаемых конструкций применяется бетон одинаковой прочности (класса), то есть в предложенном способе принято новое, ранее не применявшееся, решение: снижение расхода цемента в растянутой зоне изгибаемых конструкций. Реализация предложенного способа не предусматривает особых дополнительных затрат. В дальнейшем, планируется провести исследование возможности и целесообразности распространения предложенного способа на предварительно напряжённые железобетонные изгибаемые конструкции, провести испытания натуральных образцов, выполнить оптимизацию снижения класса бетона в растянутой зоне изгибаемых конструкций, а также сравнение теоретических и практических результатов.

**Ключевые слова:** снижение затрат, цемент, изгибаемые железобетонные конструкции

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей в строительстве было и остаётся снижение расхода цемента и уменьшение веса бетона в изгибаемых железобетонных конструкциях. Для этого разработаны и применяются в настоящее время неизвлекаемые и извлекаемые пустотообразователи изготовленные из таких материалов как картонно-полиэтиленовые, асбестоцементные, и пластмассовые трубы с сечениями круглыми, квадратными, вертикальными, эллипсоидальными, овальными. Для этих же целей применяются шлакощелочные бетоны и бетоны с добавлением золы. Способствует решению этой задачи и оптимальный подбор размеров, и соотношение щебня и песка. Предлагаемый способ снижения прочности бетона, а, следовательно, и расход цемента в растянутой зоне изгибаемых железобетонных конструкций: балок и плит перекрытий внесёт свой небольшой, но

полезный вклад в решение актуальной задачи. Целью и постановкой задач исследований является обоснование возможности и целесообразности понижения прочности бетона в растянутой зоне изгибаемых железобетонных конструкциях без предварительного напряжения на примерах: 1) железобетонных сборных балках с размерами 600×60×20 см, 2) монолитных сплошных железобетонных плитах перекрытий толщиной 24 см, 3) сборных балочных плитах перекрытий размерами 630×150×22 см с пустотами круглого сечения диаметром 159 мм.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В своих публикациях исследователи для снижения расхода бетона и цемента предлагают применять золу, молотый шлак, отходы металлургических заводов, шлакощелочной бетон, различные химические добавки – поташ, жидкое стекло, пластификаторы, вкладыши и пустотообразователи,

оптимизацию состава бетонных смесей и их тепловую обработку.

В работе [1] описан способ изготовления сборных железобетонных плит перекрытия с овальными пустотами с целью уменьшить расходы на изготовление плит перекрытий за счёт уменьшения расхода бетона и, следовательно, цемента, однако в массовом производстве способ не нашёл широкого применения из-за обрушения бетона стенок овального отверстия при извлечении пуансонов из свежесформованной плиты перекрытия.

Байков В.Н. и Сигалов Э.Е. в работе [2], приводя технико-экономические показатели плит перекрытий при номинальном пролёте 6 м отмечали, что наиболее экономичны по расходу бетона плиты с овальными пустотами; приведенная толщина бетона в них 92 мм, в то время как с плитами с круглыми пустотами она достигает 120 мм. Однако при изготовлении панелей с овальными пустотами на заводах возникают технологические трудности, вызванные тем, что после извлечения пустотообразователей стенки каналов свежесформованного изделия иногда обваливаются. Поэтому в качестве типовых приняты сборные плиты с круглыми пустотами. Дальнейшее совершенствование технологии заводского изготовления пустотных панелей позволит перейти к более экономичным по расходу бетона конструкциям.

Впервые научное обоснование применения шлакощелочного цемента взамен обычного портландцемента для изготовления бетонных и железобетонных конструкций дали Глуховский В.Д. и Пахомов В.А. [3].

В существующей нормативной документации [4] регламентируется расход цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций. При этом нормируемое содержание цемента в 1 м<sup>3</sup> бетона изделий и конструкций (в плотном теле) должно обеспечивать предусмотренные проектной документацией свойства (класс прочности на сжатие, марку по плотности, морозостойкость, водонепроницаемость).

Интересным способом снижения расхода бетона при изготовлении плит перекрытий является применение неизвлекаемых пластмассовых пустотообразователей шайбовидной, шаровидной и коробчатой формы [5, 6], а также каменных материалов [7]. Этот способ изготовления плит позволяет снизить расход бетона по сравнению со сплошными плитами до 30 %. В работах [8-10] обоснован способ применения картонно-полиэтиленовых пустотообразователей при изготовлении монолитных железобетонных балочных плит перекрытий с заменой бетона на пустоту до 38 %. Способы, позволяющие снизить на 40 % вес круглопустотных железобетонных плит перекрытия, опёртых по контуру, предложен в

патентах [11, 12] за счёт применения неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей. При этом снижается расход арматуры и бетона.

В ряде работ [13, 14] обосновано добавление в бетонную смесь золы твёрдых бытовых отходов для повышения прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и снижения объёмной массы полученного бетона.

Подводя итоги анализу публикаций можно сделать вывод о том, что исследования по снижению расхода цемента для бетона в растянутой зоне изгибаемых железобетонных конструкций не установлены.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе [2] авторы Байков В.Н. и Сигалов Э.Е. отмечают, что в сечениях, нормальных к продольной оси элементов, – при изгибаемых, внецентренно сжатых, внецентренно растянутых – при двузначной эпюре напряжений в стадии III характерно одно и тоже напряжённо-деформативное состояние. В расчётах прочности элементов усилия, воспринимаемые сечением, нормальным к продольной оси элемента, определяют по расчётным сопротивлениям материалов с учётом коэффициентов условий работы. При этом принимают следующие исходные положения: бетон растянутой зоны не работает – сопротивление  $R_{bt}$  равно нулю; бетон сжатой зоны имеет расчётное сопротивление  $R_b$  – эпюра напряжений прямоугольная; продольная арматура испытывает напряжения, не превышающие расчётное сопротивление  $\delta_s \leq R_s$ , продольная арматура в сжатой зоне испытывает напряжение  $\delta_{sc}$ . Однако, в настоящее время бетон в растянутой зоне по-прежнему принимается такого же класса (прочности) как и в сжатой зоне элемента. Также указанные авторы отмечают, что несущая способность элемента может быть удовлетворена при различных сочетаниях размеров поперечного сечения элемента и количества арматуры в нём. В реальных условиях стоимость железобетонных элементов близка к оптимальной при значениях:

$$\mu = 1 \dots 2\% \text{ } x/h_0 = 0,3 \dots 0,4 \text{ – для балок (1),}$$

$$\mu = 0,3 \dots 0,6\%; \text{ } x/h_0 = 0,1 \dots 0,15 \text{ для плит} \text{ (2),}$$

где  $\mu$  – процент армирования;

$x/h_0$  – относительная высота сжатой зоны бетона.

Поэтому предлагается в нижней (растянутой) зоне элемента укладывать бетон пониженной прочности, что позволит снизить расход цемента.

Ниже приведены примеры расчётов по снижению расхода цемента, при изготовлении изгибаемых железобетонных конструкций без предварительного напряжения: 1) сборных железобетонных балок, 2) монолитных железобетонных сплошных плит перекрытий 3) сборных железобетонных плит перекрытий с размерами 630×150×22 см с пустотами круглого сечения диаметром 159 мм.

**Пример №1.** Балка сборная железобетонная без предварительного напряжения размерами, м: (6(L)×0,5(h)×0,2(b)) (рис. 1-3) изготовлена из бетона

класса В20 на цементе марки 400, расход цемента в железобетонной балке  $340 \text{ кг/м}^3$  при отпускной прочности 80%. Требуется снизить расход цемента при сохранении несущей способности балки.

Выполняем конструирование балки и расчёт снижения расхода цемента. Объём бетона в балке составит  $V_b = 6 \times 0,5 \times 0,2 = 0,6 \text{ м}^3$ , а расход цемента в балке (по СНиП 82-02-95, таблица 1) до замены высокопрочного бетона класса В20 на бетон пониженной прочности В10 в растянутой зоне балки составит  $0,6 \times 340 = 204 \text{ кг}$ .

Из равенства  $x/h_0 = 0,4$  находим высоту сжатой зоны  $x$ : принимаем  $h_0 = 0,57 \text{ м}$ , тогда  $x = 0,57 \times 0,4 = 0,228 \text{ м}$ . Объём бетона в растянутой зоне составит  $(0,6 - 0,228) \times 6 \times 0,2 = 0,446 \text{ м}^3$ . Определяем (по СНиП 82-02-95, таблица 1) расход цемента марки 400 при 80 % отпускной прочности бетона в растянутой зоне после замены высокопрочного бетона на бетон пониженной прочности:  $0,446 \times 235 = 104,9 \text{ кг}$ , (здесь 235 расход цемента в кг на  $1 \text{ м}^3$  бетона класса В10).

Расход цемента в сжатой зоне составит  $(0,6 - 0,446) \times 340 = 53,76 \text{ кг}$ . Расход цемента марки 400 на балку после снижения прочности бетона в растянутой зоне составит  $104,9 + 53,76 = 158,66 \text{ кг}$ . Снижение расхода цемента марки 400 на одну балку составит  $(204 - 158,66) : 204 \times 100 = 22,23\%$ .

**Пример №2.** Расчёт снижения расхода цемента марки 400 в монолитных железобетонных сплошных на тяжёлом бетоне плитах перекрытий без предварительного напряжёния, Толщину плиты принимаем 24 см. Для удобства расчёт выполним применительно к  $1 \text{ м}^2$  плиты перекрытия. Принимаем класс бетона В22,5 до снижения класса бетона в растянутой зоне плиты перекрытия. Объём бетона в  $1 \text{ м}^2$  плиты перекрытия составит  $0,24 \text{ м}^3$ , и расход цемента  $370 \text{ кг}$  на  $1 \text{ м}^3$  бетона, а на  $1 \text{ м}^2$  плиты перекрытия толщиной 24 см расход цемента марки 400 при отпускной прочности бетона 80 % до снижения расхода цемента составит  $370 \times 0,24 = 88,8 \text{ кг}$ . Из равенства  $x/h_0 = 0,15$  находим высоту сжатой зоны  $x$ :  $x = 0,21 \times 0,15 = 0,0315 \text{ м}$ .

Объём бетона в растянутой зоне составит  $(0,24 - 0,0315) \times 1 = 0,2085 \text{ м}^3$ . Принимаем класс бетона замещения В10. Тогда расход цемента в растянутой зоне при классе бетона В10 составит  $235 \times 0,2085 = 49 \text{ кг}$ . Расход цемента на  $1 \text{ м}^2$  плиты перекрытия в сжатой зоне составит  $(0,24 - 0,2085) \times 370 = 11,66 \text{ кг}$ . Снижение расхода цемента составит  $88,8 - 49 - 11,66 = 28,14 \text{ кг}$  или  $28,14 : 88,8 \times 100 \% = 31,7 \%$ .



Рис. 1. Схема расположения сжатой и растянутой зоны в железобетонной балке tensile.

Fig. 1. Scheme of the location of the compressed and zone in reinforced concrete

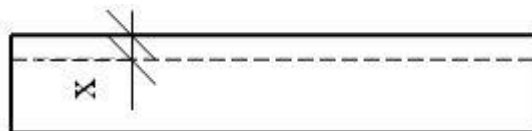


Рис. 2. Расчётная схема сжатой зоны высотой  $x$  в сечении монолитной сплошной плиты перекрытия.

Fig. 2. Calculation scheme of a compressed zone with a height  $x$  in the section of a monolithic solid floor slab

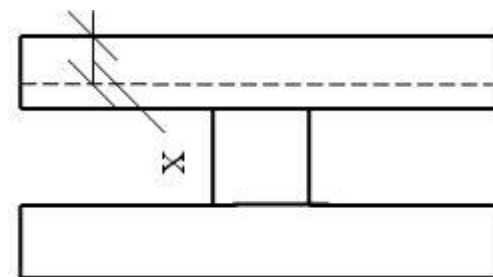


Рис. 3. Расчётная схема сжатой зоны высотой  $x$  в сечении сборной плиты перекрытия.

Fig. 3. Calculation scheme of the compressed zone with height  $x$  in the cross section of the prefabricated.

**Пример №3.** Расчёт снижения расхода цемента марки 400 в сборных железобетонных плитах перекрытий с размерами  $630 \times 150 \times 22 \text{ см}$  с пустотами круглого сечения диаметром 159 мм. Принимаем класс бетона В25. Определяем объём плиты перекрытия  $6,3 \times 1,5 \times 0,22 = 2,079 \text{ м}^3$ . Объём пустот в плите перекрытия (согласно патента на изобретение (№263156) [10] принимаем 38 % или  $2,079 \times 0,38 = 0,79 \text{ м}^3$ , следовательно, объём бетона в плите перекрытия составит  $2,079 - 0,79 = 1,289 \text{ м}^3$ .

Расход цемента марки 400 для бетона плиты перекрытия до снижения класса бетона составит:  $1,289 \times 425 = 547,83 \text{ кг}$ . Принимаем класс бетона

замещения в растянутой зоне В10. Из равенства  $x/h_0 = 0,15$  находим высоту сжатой зоны плиты перекрытия зоны  $x$ :  $x = 0,19 \times 0,15 = 0,0285$  м. Тогда объём сжатого бетона составит  $0,0285 \times 1,5 \times 6,3 = 0,269$  м<sup>3</sup>, где 1,5 – ширина плиты перекрытия, 6,3 длина плиты перекрытия, 0,0285 метра – толщина верхней сжатой зоны плиты перекрытия в метрах. Тогда объём бетона в растянутой зоне составит  $1,289 - 0,269 = 1,02$  м<sup>3</sup>. По СНиП 82-02-85 определяем расход цемента на один м<sup>3</sup> бетона класса В100 в условиях тепловой обработки при отпускной прочности 90 % – 245 кг/м<sup>3</sup>. Расход цемента на бетон В100 в растянутой зоне плиты перекрытия составит:  $245 \times 1,02 = 249,9$  кг.

Расход цемента в сжатой зоне составит  $0,269 \times 425 = 114,3$  кг, где 0,269 – объём сжатого бетона, 425 – нормативный расход цемента для бетона класса В25 в условиях тепловой обработки при отпускной прочности 90% согласно таблице 1 СНиП 82-02-95. Тогда расход цемента на плиту перекрытия после применения в растянутой зоне плиты бетона замещения класса В10 составит  $114,3 + 249,9 = 364,2$  (кг). Следовательно, снижение расхода цемента на сборную пустотную плиту перекрытия составит  $547,83 - 364,2 = 183,63$  (кг) или  $183,63 : 547,83 \times 100\% = 33,5\%$ .

Результаты применения предложенного способа следующие: 1) снижение расхода цемента при изготовлении железобетонной балки размером в метрах:  $6(L) \times 0,5(h) \times 0,2(b)$  на тяжёлом бетоне, составило 22,23 %; 2) при изготовлении монолитных плит перекрытий на тяжёлом бетоне снижение расхода цемента составляет 31,7%, 3) при изготовлении сборных пустотных плит перекрытия размером  $630 \times 150 \times 22$  см на тяжёлом бетоне расход цемента снизился на 33,5 %.

## ВЫВОДЫ

Предлагаемый способ снижения расхода цемента при изготовлении изгибаемых железобетонных конструкций без предварительного напряжения возможен и целесообразен, а также является хорошим дополнением к известным способам снижения расхода цемента, приведённым в разделе «Обзор литературы». Отличие других способов от предложенного состоит в том, что в растянутых и сжатых зонах изгибаемых конструкций применяется бетон одинаковой прочности (класса), то есть в предложенном способе применено новое ранее не применявшееся решение: снижение расхода цемента в растянутой зоне изгибаемых конструкций, которое является хорошим дополнением к известным способам снижения расхода цемента. Следует также заметить, что реализация предложенного способа не предусматривает особых дополнительных затрат. При принятии решения о высоте сжатой зоны изгибаемого элемента следует учитывать технологические особенности изготовления

монолитных, сборных и сборно-монолитных элементов, а также их размеры, толщину монолитного перекрытия пролётами 6 и более метров (для удобства бетонирования) рекомендуется принимать толщиной, не менее 24 см, при изготовлении сборных и сборно-монолитных плит перекрытий раздельное бетонирование растянутой и сжатой части элемента затруднений не вызывает. При конструировании и расчёте плит перекрытий следует также учитывать особенности их работы в приопорных участках в балочных, опирающихся на три стороны, и по контуру, а также в неразрезных балках и плитах перекрытий, в которых на приопорных участках плит зона растяжения изменяется на зону сжатия и наоборот. Следует также учитывать изменение изгибаемости элементов и необходимость противодействовать трещиностойкости, исходя из условий окружающей среды. В дальнейшем, планируется провести исследование возможности и целесообразности распространения предложенного способа на предварительно напряжённые железобетонные изгибаемые конструкции., провести испытания натуральных образцов, выполнить оптимизацию снижения класса бетона в растянутой зоне изгибаемых конструкций, а также сравнение теоретических и практических результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахновский К.В. Железобетонные конструкции, издание 8-е, переработанное - Москва.: Госуд. Изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. С. 148, 149, 440-443.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные Конструкции. - Москва: Стройиздат, 1991. - 768с.; С. 116-117, 284-285.
3. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. / Шлакощелочные цементы и бетоны. – Киев: Будивельник, 1978. – 183 с.
4. СНиП 82-02-95 / Типовые, элементарные нормы расхода цемента при и изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций, Стр. 3, Таблица 3.
5. Бабий И.М., Коломийчук В.Г. // Эффективные предварительно напряжённые монолитные железобетонные перекрытия с применением неизвлекаемых. вкладышей-пустотообразователей // Бетон и железобетон в Украине 2019. №2. С. 13-18.
6. Фебра А.Ф. (РТ) Закладной формовочный элемент для изготовления плоских железобетонных плит // Патент №2 242 360 С. 2. 15.08.2018.
7. Шаленный В.Т., Щегула Р.В. Сравнительная эффективность монолитных перекрытий с вкладышами из картона, пластмассы и местных каменных материалов // Строительство и техногенная безопасность. 2022. №24(76). С. 63-70.
8. Пушкарев Б.А., Кореньков, П, А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции, сферы применения и особенности расчёта // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 46. С.30-35.

9. Буцкая Е. Л., Зезюков, Д.М., Махинько, Н. Н., Зинкевич О. Г. Обоснование оптимального вида пустотообразователя в монолитном плоском перекрытии // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2019. №3. С.10-18.

10. Пушкарев Б.А. Способ изготовления монолитных железобетонных балочных плит перекрытий с круглыми пустотами, с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей. // Патент. №263156 МПКВ28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01), С2.24.10.17.

11. Пушкарев Б.А. Способ изготовления сборно-монолитных железобетонных опирающихся по контуру плит перекрытий с круглыми пустотами с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей // Патент. RU/ 2713826 С2 МПК В28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01), 07.02.20.

12. Пушкарев Б.А. Способ непрерывного изготовления монолитных железобетонных опирающихся по контуру пустотных плит перекрытий с применением неизвлекаемых трубчатых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей // Патент. №2664087 МПК В28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01),

13. Бойко В.Е., Ерёмченко В.А. / Практическое пособие. Расчёт и подбор составов лёгких бетонов. – Киев: Будивельник, 1974. – 145 с.

14. Прохоров Андрей Геннадьевич. Бетонная смесь // Патент 2433073 Российская Федерация. 25.05.2010.

15. Межгосударственный стандарт / Плиты перекрытий железобетонные для жилых зданий // ГОСТ 26434-2015, Москва: Стандартинформ, 2017. С.4.

## REFERENCES

1. Sakhnovsky K.V. Reinforced concrete structures, 8th edition, revised - Moscow: Gosud. Ed. literature on construction, architecture and building materials, 1959. – Pp. 148, 1, 149, 440-443.

2. Baikov V.N., Sigalov E.E. Reinforced concrete structures. – Moscow: Stroyizdat, 1991. – 768 p.; pp. 116-117, 284-285.

3. Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. / Slag-alkaline cements and concretes. – Kyiv: Budivelnik, 1978. – 183 p.

4. SNiP 82-02-95 / Typical, elementary norms for the consumption of cement in the manufacture of concrete and reinforced concrete products and structures, Pp. 3, Table 3.

5. Babiy I.M., Kolomiychuk V.G. // Efficient prestressed monolithic reinforced concrete slabs using non-removable ones. hollow-forming inserts // Concrete and reinforced concrete in Ukraine 2019. No. 2. Pp.13-18.

6. Febra A.F. (RT) Embedded molding element for the manufacture of flat reinforced concrete slabs // Patent No. 2 242 360 C. 2. 08/15/2018.

7. Shalenny V.T., Shchegula R.V. Comparative efficiency of monolithic ceilings with liners made of cardboard, plastic and local stone materials // Construction and technogenic safety. 2022. No. 24(76). Pp. 63-70.

8. Pushkarev B.A., Korenkov P.A. 2013. No. 46. Pp.30-35.

9. Butskaya E.L., Zezyukov, D M., Makhinko, N.N., Zinkevich O. G. Substantiation of the optimal type of void former in a monolithic flat ceiling // Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture. 2019. №3. Pp.10-18.

10. Pushkarev B.A. A method for manufacturing monolithic reinforced concrete beam floor slabs with round voids, using non-removable cardboard-polyethylene void formers. // Patent. No. 263156 МПКВ28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01), С2.24.10.17.

11. Pushkarev B.A. Method for manufacturing prefabricated monolithic reinforced concrete floor slabs supported along the contour with round voids using non-removable cardboard-polyethylene void formers // Patent. RU/ 2713826 С2 IPC В28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01), 02.07.20.

12. Pushkarev B.A. Method for the continuous production of monolithic reinforced concrete hollow-core floor slabs supported along the contour using non-removable tubular cardboard-polyethylene void formers // Patent. No. 2664087 IPC В28В 1/44 (2006.01), E04с 2/00 (2006.01) В288 7/28 (2006.01).

13. Boyko V.E., Eremenko V.A. / Practical guide. Calculation and selection of lightweight concrete compositions. – Kyiv: Budivelnik, 1974. – 145 p.

14. Prokhorov Andrei Gennadievich. Concrete mixture // Patent 2433073 Russian Federation. May 25, 2010.

15. Interstate standard / Reinforced concrete floor slabs for residential buildings // GOST 26434-2015, Moscow: Standartinform, 2017. Pp. 4.

## METHOD FOR REDUCING CEMENT CONSUMPTION WHEN MANUFACTURING FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITHOUT PRE-STRESSING

Pushkarev B.A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Simferopol, Kievskaya str., 181, boris\_pushkarev@mail.ru

**Abstract.** An analysis was made of publications in which other methods of reducing the consumption of cement for the manufacture of bent reinforced concrete structures were studied, in which void formers, liners, slags were used, optimal selection of sizes and ratios of sand and crushed stone, heat treatment, replacement of Portland cement with slag-alkali binder, addition of ash to concrete.

**Subject of study.** The article presents studies on reducing the consumption of cement in the manufacture of reinforced concrete bending structures without prestressing on examples: 1) prefabricated beam; 2) monolithic floor slab, 3) prefabricated floor slab with round voids.

**Materials and methods.** The relevance, possibility and expediency of implementing the task of reducing the consumption of cement in the manufacture of bent reinforced concrete structures are substantiated. Attention is drawn to the fact that concrete in the tension zone does not actually affect the bearing capacity of the bending structure, since the tensile strength of concrete is very low and therefore is not taken into account in the calculations. Attention is also drawn to the fact that currently concrete of the same strength is used in the tension zone as in the compressed zone. In the tensile zone, it is proposed to use low-strength concrete, and when designing and calculating elements of bending structures, take into account that in individual elements concrete changes its bearing capacity, namely: compression to tension and vice versa, tension to compression. In such places, and these are, as a rule, supporting sections in continuous structures, it is necessary to install additional transverse and longitudinal reinforcement. Examples of calculations for reducing cement consumption are given: 1) for a prefabricated beam 600×60×20 cm in size, 2) a monolithic reinforced concrete floor slab 24 cm thick, 3) a prefabricated beam floor slab with dimensions 630×150×22 cm with round voids with a diameter of 159 mm.

**Results.** The proposed method allows to reduce the consumption of cement by 22% in the manufacture of beams, 32% in the manufacture of a monolithic reinforced concrete floor slab and 33% in the manufacture of a prefabricated beam floor slab measuring 630×150×22 cm.

**Conclusions.** The proposed method for reducing cement consumption in the manufacture of bent reinforced concrete structures without prestressing is possible and expedient, and is also a good addition to the known methods for reducing cement consumption given in the Literature Review section. The difference of other methods from the proposed one is that concrete of the same strength (class) is used in the stretched and compressed zones of the bent structures, that is, in the proposed method, a new, previously not used, solution is adopted: reducing the consumption of cement in the stretched zone of the bent structures. The implementation of the proposed method does not provide for special additional costs. In the future, it is planned to study the possibility and feasibility of extending the proposed method to prestressed reinforced concrete bent structures, test full-scale samples, optimize the reduction in the concrete class in the stretched zone of bent structures, as well as compare theoretical and practical results.

**Key words:** reinforced concrete structure, cement, cost reduction.